

魚群探知機에 의한 定置網內의 魚群의 行動과 魚群量 推定*

辛 亨 鎰

釜山水產大學
(1986년 2월 20일 수리)

Schooling Behavior and Estimation of Volume of the Fish School in Set Net by Fish Finder*

Hyeong Il SHIN

National Fisheries University of Pusan
(Received February 20, 1986)

Schooling behavior to a fishing gear and estimation of the volume of fish school in set net have been studied by making use of such techniques as visual observations, underwater cameras, underwater television.

However, all of these observation techniques are subject to restrictions caused by illumination, underwater visibility, underwater transparent and sea conditions. For the above mentioned reason, one of the most effective method by this time become generally known a method using fish finder.

In this paper, in order to control the fishing ground of set net effectively and to develop the telemetric fish finder, the experiments for the target strength, underwater shape of fishing gear, schooling behavior and volume of fish school with fish finder were performed at Galgott fishing ground of set net located Keouje Island, 15th-24th July and 18th-20th October in 1985.

The results of these experiment showed that a method using fish finder in fishing ground of set net is available for estimating distribution and school size, fish behavior in relation to a fishing gear and underwater shape of fishing gears.

緒 論

定置網漁業은 漁具를 船舶에 장비하고 漁場을 이동하면서 조업하는 旋網漁業, 機船底曳網漁業, 鯨鯨網漁業 등에 비해 船舶의 運航經費가 많이 소요되지 않을 뿐더러 漁獲物은 鮮도가 극히 양호하여 비싼 가격으로 판매할 수 있어, 오일 쇼크와 沿岸國들의 200해리 經濟水域의 선포 이후로 經濟性에 대한 새로운 인식과 작광을 받고 있다.

그러나, 최근 水產資源과 漁業人口의 減少로 來游 魚群의 誘導에 대한 보다 적극적인 방안의 강구와

漁撈作業의 省力化를 위한 새로운 검토가 절실히 요구되고 있다. 이를 위해서는 定置網漁場 주변의 海洋環境, 漁具의 改良, 操業裝備의 現代化, 集魚方法 등이 고려되어야 하나, 基本的으로는 來游해오는 대상어종의 行動과 魚群量을 精確하게 파악하는 것이 가장 중요하다.

定置網內에서의 魚群의 對網行動과 魚群量을 精確히 파악하는 데는 현재까지 魚群探知機에 의한 방법이 가장 효과적인 것으로 판단되어 外國에서는 이미 오래전 부터 이에 관한 많은 研究를 거듭해 왔다. 그 주된 研究로는 佐野¹⁾, 西村²⁾, 青山³⁾, 梶田⁴⁾ 등의

* 이 논문은 1985년도 문교부 학술연구조성비에 의하여 연구 되었음.

魚探의 성능과 記錄解析에 관한 研究와 Kenneth⁵⁾, Richard⁶⁾, Nakken⁷⁾, 橋本⁸⁾, 濱田⁹⁾ 등의 水中物標의 反射強度에 관한 研究가 있으며, 定置網內의 魚群의 行動에 관하여는 高橋¹⁰⁾, 鈴木¹¹⁾, 建原¹²⁾, 見元¹³⁾, 久保田¹⁴⁾, 田原¹⁵⁾, 松田¹⁶⁾ 등이, 資源量 推定에 관하여는 木村¹⁷⁾, 柴田¹⁸⁾, 大川¹⁹⁾, 田中²⁰⁾ 등이 研究한 바 있고, 魚探에 의한 定置網漁具의 網形에 대해서는 葉室²¹⁾, 唐²²⁾ 등이 研究한 바 있다.

그러나, 우리나라에서는 아직도 定置網漁場에서의 魚群探知機의 有用性에 대해 거의 연구한 바 없다.

本 研究는 魚群探知機를 이용하여 定置網漁場을 효과적으로 관리하고, 遠隔制御用 魚群探知機를 개발하는 데 필요한 基礎資料를 제공하기 위하여 1985년 7월 15일~24일과 10월 18일~20일에 거제도 도장포 갈곳 定置網漁場에서 魚探의 探知能力, 水中物標의 反射強度, 定置網의 形狀變化, 헛통과 원통에서의 魚群의 行動과 魚群量 등에 관한 現場實驗을 행하고, 그에 대한 檢討·分析을 하였다.

資料 및 方法

1. 實驗漁場의 環境과 漁具

實驗은 1985년 7월 15일~24일과 10월 18일~20일에 거제도 도장포 갈곳 定置網漁場에서 실시하였다. 測定當時 7월은 風浪階級 0~1, 氣溫 30°C, 水溫 25°C 였고, 10월은 風浪階級 0~1, 氣溫 24°C, 水溫 20°C 였으며, 定置網의 敷設位置는 Fig. 1과 같다.

實驗에 이용한 定置網은 315m의 길 그물, 헛통, 비탈그물과 원통으로 구성된 片落網이며, 漁具의 규모와 魚探의 고정위치는 Fig. 2와 같다.

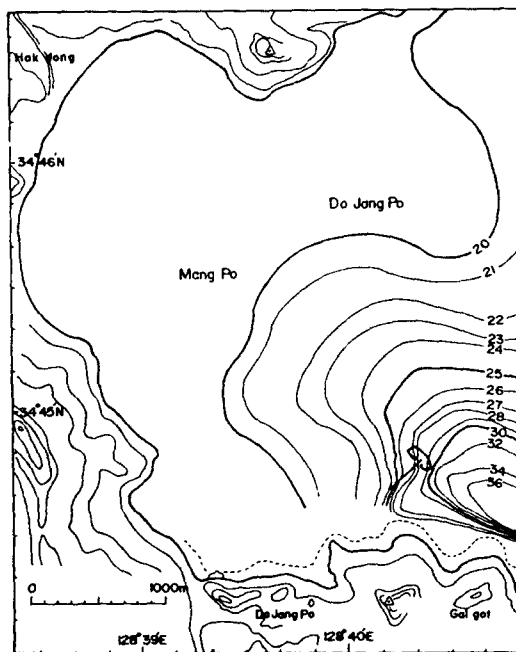


Fig. 1. The position of a set net in fishing ground.

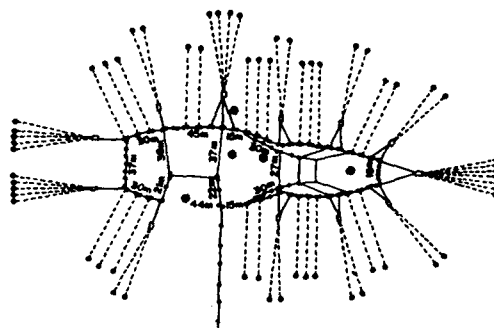


Fig. 2. The construction of a set net used for the experiment.

Table 1. Specifications of equipments used for experiment

Equipments	Specifications
Fish Finder A (ROYAL, RF-16OR)	Frequency: 200KHz Pulse width: 1ms
Fish Finder B (JMC, 1205)	Frequency: 50KHz Pulse width: 1ms
Fish Finder C (ROYAL, RF-320RE)	Frequency: 50KHz Pulse width: 1ms
Hydrophone (OKI, ST-1001)	Frequency range: 10Hz-50KHz Receiving sensitivity: -180dB (0dB=1v/μpa)
Underwater Sound Level Meter (OKI, SW-1007)	Variable gain range: 80dB Frequency: 7Hz-90KHz (3dB)
X-Y Recorder (TOA, XYR-2A)	Recording areas: 250mm × 180mm Pen speed: 300mm/sec
Oscilloscope (HC, OS-620)	Frequency response: DC-10MHz Maximum input voltage: 600Vp-p or 300V
Sextant (TZS, 675071)	Frame: 162mm, 50-125 graduation Micrometer: 1 in a turn

2. 測定計測器

海底地形, 水中物標의 反射強度, 漁具의 形狀變化, 魚群의 行動 및 魚群量推定에 이용한 測定計測器의 諸元은 Table 1과 같다.

3. 實驗魚場의 海底地形 測定

小型船舶에 氣泡의 영향을 받지 않는 船體 中央 部分에 B型 魚探의 送受波器를 장비하고, 平行線法으로 정한 計劃測深線에 磁氣컴퍼스로 定針하여 航走하면서 水深을 연속적으로 측정하였으며, 各 基準點의 位置는 六分儀로 3物標間의 夾角을 측정하여 水平夾角法으로 구하였다.

또한, 魚探으로 측정한 水深은 吃水補正과 潮高補正을 행하여 海圖에 프롯트하였으며, 그 等深線은 Fig.1에 나타내었다.

4. 魚探의 指向特性과 探知範圍 測定

水中物標의 反射強度와 魚群量 推定에 사용한 B型 魚探의 送受波器의 指向特性의 測定裝置와 그 系統圖는 Fig.3과 같다.

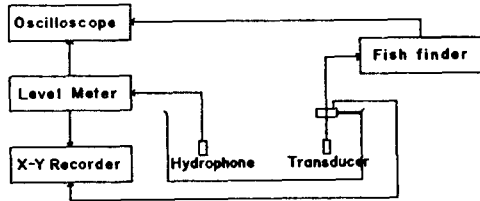


Fig. 3. Block diagram of apparatus used for directivity measurement of fish finder.

1) 送受波器의 指向特性

指向特性은 無響水槽($L \times B \times H$, $1.8m \times 1.2m \times 1.2m$)내에서 측정하였으며, Fig.3과 같이 水中聽音器와 送受波器를 表面으로부터 $40cm$ 아래에 $1m$ 의 거리를 두고 서로 마주보게 고정하여 送受波器를 회전대 로 180° 회전시키면서 魚探의 펄스신호를 송신하는 한편, 魚探의 출력은 오실로스코프에, 회전대의 회전 방향에 따른 출력은 X-Y記錄計의 X軸 端子에 입력시켰다.

送信波는 水中聽音器로 수신하여 水中音壓計에 입력시키고, 그 출력은 오실로스코프와 X-Y記錄計에 각각 입력시켜 오실로스코프로 수신파형을 관찰하면

서 X-Y記錄計에 送受波器의 회전방향에 따른 수신 전압을 연속 기록하여 相對音壓比로 指向特性을 구하였으며, 그 計算値는 (1)式²³⁾을 이용하여 구하였다.

$$R = \left| \frac{2J_1(Z)}{Z} \right| \quad (1)$$

단, R: 指向性函數, $Z = ka \sin \theta$,

$k = 2\pi/\lambda$, λ : 波長, a : 振動子의 半径,

J_1 : 第1種 Bessel 函數

指向特性의 測定値와 計算値는 Fig.4에 나타내었 으며, 그 指向角은 36.4° 였다.

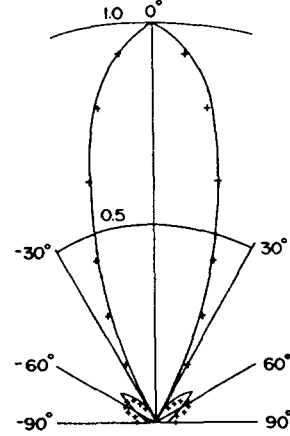


Fig. 4. Beam pattern of the transducer of fish finder.
- + : observed values
- - : calculated value by equation (1).

2) 探知範圍

送受波器로부터 r m 떨어진 反射強度가 TS 인 水中物標의 反射信號를 記錄紙上에서 식별하는 데 필요한 音壓은 (2)式²⁴⁾과 같이 나타낼 수 있다.

$$EL = SL + TS + 20 \log b(\theta) - 40 \log r - 2\alpha \quad (2)$$

단, EL: 反射信號音壓

SL: 音源強度

$b(\theta)$: 指向性函數

α : 垂直方向의 吸收減衰係數

(2)式에서 α 는 측정 수심이 $18m$ 로 비교적 얇기 때문에 무시할 수 있으며, 水中物標의 記錄限界를 相對音壓레벨로 표시하던 記錄可能範圍는 $EL \geq 0$ 이어야 하므로 記錄限界는 (3)式과 같이 나타낼 수 있다.

$$0 = SL + TS + 20 \log b(\theta) - 40 \log r \quad (3)$$

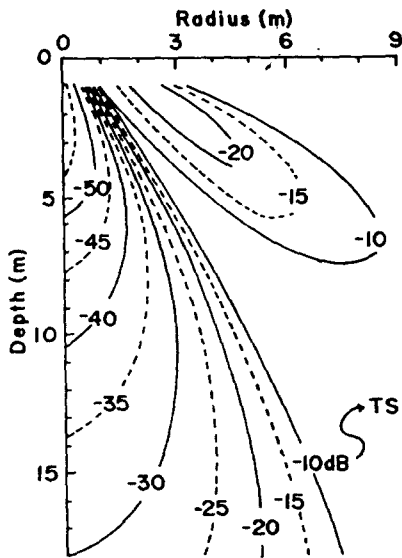


Fig. 5. The sampling cross section of directional pattern obtained by fish finder.

B型 魚探인 경우, SL이 81 dB이었으며, TS를 -10 dB ~ -55 dB의 범위로 하고, Fig. 4에서 구한 指向性函數 $b(\theta)$ 를 (3)式에 대입하여 水深에 따른 水中物標의 探知範圍를 計算한 결과는 Fig. 5와 같다.

5. 水中物標의 反射強度 測定

反射強度는 Fig. 6과 같이 水中物標를 가로, 세로가 각각 2m 인 鐵고정태에 고정시켜 鐵고정태의 중앙에 送受波器가 위치하도록 장치하고, 海面으로부터 1m 간격으로 鉛直方向으로 하강시키면서 魚探記錄紙에 記錄함과 동시에 魚探의 受信回路에서 水中物標의 反射波의 最大電壓을 측정하였다.

측정한 水中物標의 諸元은 Table 2와 같고, 측정

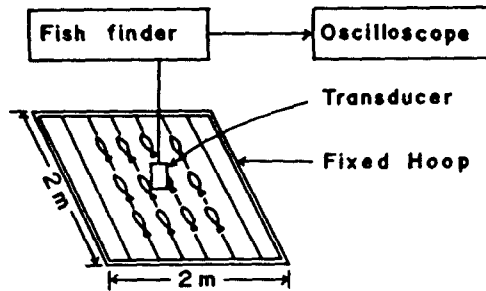


Fig. 6. Block diagram of apparatus for measurement of target strength and the fixed hoop used to set the targets.

부의 利得은 20 dB이었으며, 측정된 受信電壓은 物標를 고정한 鐵고정태의 영향에 대한 補正을 행하여 直接波 電壓과의 相對比로 反射強度를 計算하였다.

6. 魚群의 行動과 魚群量 測定

Fig. 2와 같이 定置網의 첫통입구, 비탈그물의 입구로부터 원통쪽으로 각각 10m, 37m의 위치에 A, B, C型 魚探을 관측용 부표에 각각 설치하고, 記錄紙에 魚群을 연속기록하여 첫통과 비탈그물에서의 魚群 行動을 관찰하였다.

魚群量은 C型 魚探을 원통의 魚捕部 중앙에 설치하여 측정하였으며, 魚群量은 다음 式들을 이용하여 計算하였다.

魚探의 送受波器의 有效指向角을 θ , 記錄紙에 記錄된 魚群의 記錄像의 上, 下端의 水深을 각각 d_u , d_l 라 하고, 有效指向角에 해당하는 上, 下端의 半徑을 r_u , r_l 라 하면

$$\left. \begin{aligned} r_u &= d_u \tan \theta \\ r_l &= d_l \tan \theta \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

Table 2. Kinds of underwater target and its dimensions used for the measurement of target strength

Type	Kinds of Target	Numbers or Mesh size	Dimensions
C ₁	Corner reflector	1	$\phi 2cm \times 18cm$
C ₂	Corner reflector	20	$\phi 2cm \times 18cm$
F ₁	<i>Caranx equula</i>	1	body length 10cm
F ₂	<i>Caranx equula</i>	9	body length 10cm
F ₃	<i>Caranx equula</i>	18	body length 10cm
F ₄	<i>Caranx equula</i>	72	body length 10cm
W ₁	Leading net	70mm	2m \times 2m
W ₂	Side net of fish court	135mm	2m \times 2m
W ₃	Inclined passage net	185mm	2m \times 2m

이 된다.

또한, 魚探의 放射領域內에서의 最大魚體數를 N 라 하면 魚群密度 ρ_d 는 (5)式²⁵⁾과 같이 나타낼 수 있다.

$$\rho_d = \frac{12 N}{\pi \cdot K \cdot h (r_u^2 \times r_e^2 r_u + r_e)} \quad (\text{fish}/\text{m}^3) \quad (5)$$

단, K : 放射領域斷面의 長徑과 短徑의 比

h : 記錄된 魚群의 水層의 두께

(5)式에서 單體魚의 記錄 두께를 Δ_{av} 라 하면

$$N = h / \Delta_{av} \quad (6)$$

이 된다.

그러므로 (5)式은 (7)式과 같이 나타낼 수 있다.

$$\rho_d = \frac{12 N}{\pi \cdot K \cdot h (r_u^2 \times r_e^2 + r_u \times r_e)} \quad (\text{fish}/\text{m}^3) \quad (7)$$

그리고, 魚群의 실제의 이동거리는 기록된 魚群의 길이와 記錄紙의 최대폭과 실제의 측정 가능 수심과의 축소비율로서 구할 수 있으며, 하나의 魚群이 放射領域內를 통과하면서 차지하는 水容積 (V_t)은 (8)式과 같이 나타낼 수 있다.

$$V_t = (r_u + r_e) \cdot h \cdot l \quad (8)$$

단, l : 魚群의 실제의 이동거리

따라서, 하나의 魚群量 T 는

$$T = \rho_d \cdot V_t \quad (9)$$

로 나타낼 수 있다.

結果 및 考察

1. 水中物標의 反射強度와 探知範圍

定置網漁場 주변에서 魚探으로 관측할 수 있는 水中物標 즉, Table 2에 나타낸 定置網을 구성하고 있는 길그물, 횃통옆판그물, 비탈그물과 표준체장이 10cm인 갈진경이 *caranx equula* 單體魚 및 이들을 조합하여 만든 魚群, 그리고, 그물과 魚群의 反射強度를 비교하기 위하여 만든 알루미늄製 코오너리플렉터 등에 대하여 B型 魚探의 受信感度を 최저로 하여

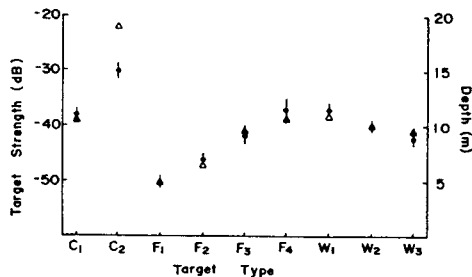


Fig. 7. Target strength and detectable depth range of targets by target type.

측정한 각각의 平均反射強度와 變動幅을 Fig. 7에 나타내었으며, 이 때 Fig. 5에서 구한 物標의 探知範圍도 함께 나타내었다.

Fig. 7에서 코오너리플렉터 하나의 反射強度는 魚群이나 그물에 비해 비교적 높았으며, 이를 20개 조합하였을 때 가장 높은 현상을 나타내었다. 또한, 魚群의 魚體數가 증가할수록, 그물은 그물코의 크기가 작을수록 높은 경향을 나타내었으며, 探知範圍는 反射強度가 클수록 넓어짐을 알 수 있었다.

본 실험에 사용한 B型 魚探의 受信感度を 최저로 하였을 때 10m 이상의 水深에 있는 水中物標가 記錄紙에 나타날 수 있는 最小反射強度는 -40dB 이상이었고, 魚群의 크기에 따른 反射強度는 코오너리플렉터를 魚群의 크기에 맞추어 적절히 조합함으로써 측정 가능함을 알 수 있었다.

2. 定置網形狀의 時間別 變化

Fig. 8은 1985년 10월 19일 오전 揚網이 끝난 직후 A, B, C型 魚探을 定置網에 고정하여 측정한 그물의 時間別 變化를 나타낸 것이다.

Fig. 8(a)는 A型 魚探을 횃통의 옆판 그물에서부터 8.5m 떨어진 위치에 送受波器를 水平으로 설치하여 연속 기록한 옆판그물의 變化를 나타낸 것으로 平均變化幅은 약 10cm였으며, 6시30분부터 7시 40분까지는 횃통 바깥쪽으로 옆판그물이 밀리고, 7시 40분 이후에는 안쪽으로 밀리는 것으로 나타났다.

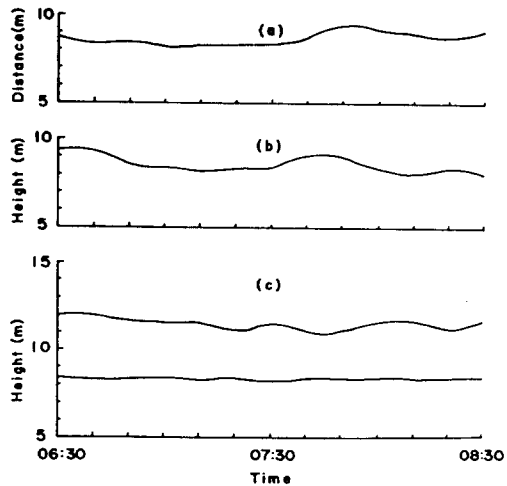


Fig. 8. Height changes from bottom in landing part of box net (b) and inclined passage net(c), and distance changes in side net of fish court (a).

Fig. 8(b)는 C型 魚探의 送受波器를 垂直으로 하여 원통의 魚捕部에 설치하여 측정된 魚捕部 그물의 해저로부터의 높이 변화를 나타낸 것으로 시간에 따라 다소 불규칙적인 변동을 하고 있으며, 평균 높이는 8.7m였고, 관측 시간중의 최대와 최소의 변동폭은 약 1.1m였다.

Fig. 8(c)는 비탈그물의 입구로부터 원통쪽으로 각각 10m, 37m 떨어진 위치에, B, C型 魚探의 送受波器를 垂直으로 설치하여 측정된 비탈그물의 해저로부터의 높이 변화를 나타낸 것으로 10m 위치에서는 平均 8.3m 의 높이로 거의 변동하지 않았으나 37m 위치에서는 平均 11.4m였고, 시간에 따라 불규칙적인 변동을 하고 있으며, 관측 시간중의 최대변화폭은 1m였다. 이와같이 定置網의 각 부위에 있어서 위치의 시간적인 변화는 조석에 의한 그물의 날림현상을 나타내는 것으로, 조석의 세기와 그물의 날림현상에 대한 구체적인 측정의 필요성이 있음을 알 수 있다.

또한, 두 위치에서의 평균높이와 그 사이의 거리로 구한 비탈그물의 경사각은 약 7°로서 일반적으로 이상적인 경사각에 해당하는 9°~12°보다²⁶⁾ 다소 낮게 설치되어 있음을 알 수 있었다.

따라서, 본 실험에 사용한 定置網을 구성하고 있는 그물중 헛통의 옆판그물과 비탈그물의 입구의 그물은 비교적 안정되어 있고, 원통의 魚捕部그물과

원통에 가까운 비탈그물은 다소 큰 변동을 하고 있으며, 비탈그물은 다소 완만한 경사를 이루고 있음을 알 수 있었다.

3. 헛통과 비탈그물에서의 魚群 行動

Fig. 9는 1985년 10월 19일 오전 揚網이 끝난 직후인 6시 50분부터 8시 8분까지 Fig. 2와 같이 헛통의 입구와 비탈그물의 입구에서 원통쪽으로 10m, 37m 떨어진 위치에 각각 A, B, C型 魚探의 送受波器를 垂直으로 하여 연속 측정된 魚群의 시간별 변화를 3분간 記錄紙가 이동된 길이와 그때의 水深이 이루는 記錄紙의 실제의 記錄面積을 1/4로 축소하고, 魚群의 記錄面積은 4배로 확대하여 나타낸 것이다.

Fig. 9(a)는 헛통의 입구에서, Fig. 9(b), (c)는 비탈그물의 입구로부터 원통쪽으로 각각 10m, 37m 떨어진 위치에서 측정된 魚群의 시간별 변화를 나타낸 것이다.

Fig. 9에서 헛통입구에서는 거의 대부분이 해저에 가까운 15m~25m의 水層에서 헛통 안쪽으로 入網되었으며, 入網된 魚群은 헛통 내에 머물기도 하겠으나 測定當時는 헛통입구를 통과한 魚群은 비탈그물 쪽으로 유도되었다. 또한, 비탈그물 입구에서는 8m~15m 水層을, 비탈그물의 중간 부근에서는 5m~14m 水層을 통과하고 있으며, 그물로 부터 1m~2m 윗쪽을 경사진 그물을 따라 이동하였다.

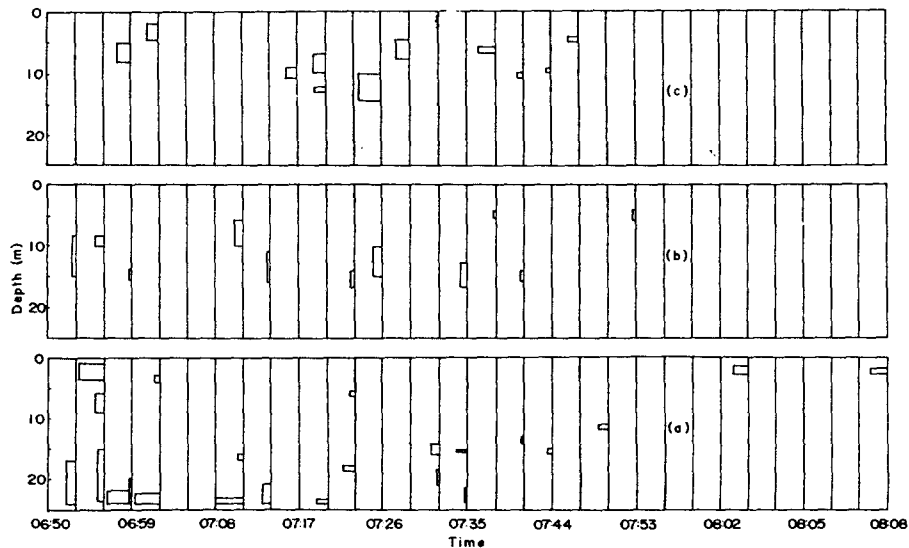


Fig. 9. Vertical distribution of fish schools in the morning, in the set net, 19th Oct. 1985.

(a) Position of a gate of fish court.

(b) Position 10m away toward box net from entrance of inclined passage.

(c) Position 37m away toward box net from entrance of inclined passage.

魚群探知機에 의한 定置網內의 魚群의 行動과 魚群量 推定

그리고, 비탈그물 입구 부근을 통과한 2~3분 후에 비탈그물의 중간 부근을 통과하므로 비탈그물에서의 游泳速度는 0.1~0.3m/s 로 추정할 수 있다.

4. 원통에서의 魚群의 垂直分布와 魚群量의 變動

Fig. 10은 10월 19일 오후 揚網이 끝난 직후인 16시부터 원통의 魚捕部에서 B型 魚探으로 관측한 魚群의 垂直分布와 魚群量의 變動을 1분간의 記錄紙의 이동길이와 水深이 이루는 記錄紙上의 面積과 魚群이 차지하는 面積을 2배로 확대하여 나타내고, 또한, 각 魚群의 魚體數를 (4)~(9)式에 의해 계산하여 나타낸 것이다. 그리고, 測定當時의 魚種은 대부분이 표준체장이 평균 32cm 인 몽치다래 *Auxis tapeinosoma* 였다.

Fig. 10에서 揚網이 끝나고 약 8분후 그물이 안정되고 나서 부터 入網되기 시작하였고, 시간이 경과함에 따라 魚群量이 증가 됨을 알 수 있었으며, 거의 10m 層에 分布하고 있는 것으로 나타났다.

따라서, 원통에 入網된 魚群을 오래동안 원통에 머물게 하기 위해서는 魚群의 水平移動을 차단할 수 있도록 구성하여야 함을 알 수 있었다.

結果는 다음과 같다.

1. B型 魚探의 受信感度를 최저로 하여 10m 以深의 水中物標가 魚探記錄紙에 기록되기 위한 物標의 最小反射強度는 -40 dB 이상이어야 한다.

2. 헛통의 옆관그물과 비탈그물입구의 그물은 비교적 안정하며, 원통의 魚捕部 그물과 원통에 가까운 비탈그물은 불규칙적인 變動을 하고, 비탈그물의 경사각은 약 7° 였다.

3. 魚群은 헛통입구에서는 해저에 가까운 水層에서 入網되어 비탈그물의 경사면을 따라 이동하며, 비탈그물에서의 游泳速度는 0.1~0.3m/s 였다.

4. 원통에서의 魚群의 分布層은 거의 10m 였으며, 원통에 入網된 魚群을 원통에 오래 머물게 하기 위해서는 魚群의 水平移動을 차단할 수 있도록 원통을 구성하여야 한다.

本 實驗의 結果만으로는 定置網 全般에 걸친 문제를 해결하는 데 다소 미흡하나, 魚探으로 定置網의 性能을 評價할 수 있는 方案은 제시하였다. 앞으로 장기간 동안 보다 많은 漁場에서 이와같은 方法을 적용하여 調査한다면 定置網의 省力化를 기하는 데 더욱 유용한 시스템을 개발할 수 있을 것이라 생각한다.

要 約

魚群探知機를 이용하여 定置網魚場을 효과적으로 관리하고, 遠隔制御用魚探을 개발할 수 있는 基礎資料를 제공하기 위하여 1985년 7월과 10월에 거제도 도장포 갈곳定置網魚場에서 魚探의 探知能力, 水中物標의 反射強度, 定置網의 形狀變化, 헛통과 원통에서의 魚群의 行動과 魚群量에 대해 檢討·分析한

謝 辭

本 研究를 위해 많은 도움을 주신 釜山水產大學 이 주희 교수님, 신 현욱님과 統營水產專門大學 열말구, 장 춘식 교수님께 감사드리며, 實驗漁物을 제공하여 주신 慶南定置水協의 신 석봉 조합장님, 갈곳 定置網魚場의 신 상민 상무님과 실험에 많은 협조를 하여준 이 수호, 정 경화, 황 규탁, 강 기봉군

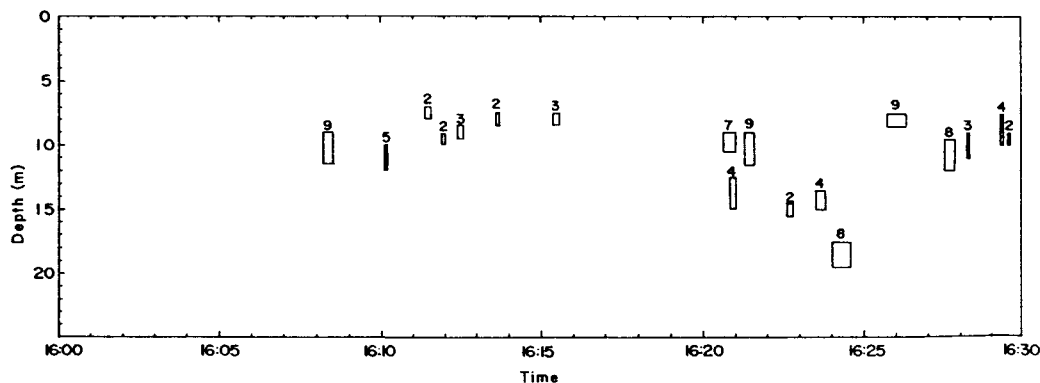


Fig. 10. Vertical distribution of fish school in the evening, in landing part of set net, 19th Oct. 1985. Numeral means the calculated volume of the fish school by equation (4)~(9).

에게 심심한 사의를 포함합니다.

文 獻

- 1) 佐野典達(1968): サケマス魚探技術の若干の問題点について-I, II. 日水誌 34(8), 660-669.
- 2) 西村實(1969): 魚群探知機の最適周波数に関する研究. 東海大學海洋學部研究報告誌 3, 48-94.
- 3) 青山恒雄(1960): 魚群探知機による魚群構造の調査-I. 日水誌 26(12), 1162-1166.
- 4) 柴田恵司(1970): 魚群探知機記録の解析. 日水誌 36(5), 462-468.
- 5) Kenneth, G. Foote (1980): Averaging of fish target strength functions J. Acoust. Soc. Am. 67(2), 504-515.
- 6) Richard, H. Love (1977): Target strength of an individual fish at any aspect. J. Acoust. Soc. Am. 62(6), 1397-1403.
- 7) Nafken, O. and K. Olsen (1977): Target strength measurements of fish. Rapp. P.-V. Réun. Cons. int. Explor. Mer, 170, 52-69.
- 8) 橋本富壽・間庭愛信(1954): 魚群體の超音波反射損失と反射波の性質. 漁船研究技報 5, 113-139.
- 9) 濱田悦之(1976): 水中超音波反射標識に関する基礎的研究. 東京大學 研究報告誌63(1), 25-39.
- 10) 高橋良助(1963): 魚群行動調査10年の歩み. かながわていち 42, 33-37.
- 11) 鈴木誠(1971): 定置網に対する魚類の行動と漁具の機能に関する基礎的研究. 東京大産大學研究報告誌 57(2), 95-171.
- 12) 建原敏彦・田原陽三・宮下萬二郎(1975): 和木定置網漁場の魚道調査. 新潟縣水産試験場資料 77(6), 1-38.
- 13) 見元孝一(1980): 音響機器利用による魚の行動計測-I. 西水研研報 55, 45-51.
- 14) 久保田清吾(1981): 三陸・常磨における定置網漁獲物の魚種構成について. 東北區水産研究所業績 345, 49-61.
- 15) 田原陽三・井上喜洋・森敬四郎(1982): スキャングンナーによる定置網に対する魚群行動調査の試み. 水産工學研究報告 3, 213-225.
- 16) 松田皎・鈴木誠・兼廣春之(1984): 定置網の網型模型に対する魚群行動の水槽實驗. 日水誌 50(7), 1109-1114.
- 17) 木村喜之助(1956): 定置網の漁獲サスマに就いて. 東北水産研究報告 7, 184-238.
- 18) 柴田恵司(1969): 魚探による資源量推定. 水産海洋研究會報 特別號, 319-322.
- 19) 大川浩・三栖寛(1978): 魚群探知機により魚群量を推定する一つの試み. 西水研研報 51, 141-157.
- 20) 田中實(1978): 魚群探知機による資源量推定法に関する基礎研究. 淡水研報 28(2), 77-139.
- 21) 高尾龜次・石岡清英・土井長之(1981): 魚群探知機によるカタクチイワシシラスの現存量推定とそれにもとづく總補給量の検討. 南西海區水産研究報告 13, 81-91.
- 22) 唐逸民・小池篤・平元泰輔(1982): 定置網の網形の變遷に伴う漁獲の變化. 日水誌48(7), 895-902.
- 23) 川村雅恭(1977): 電気音響工學概論. 昭晃堂, 47-50.
- 24) 柴田恵司(1985): 水産音響學. 日本海洋水産資源開發センター, 85-126.
- 25) Yudanov, K. I. (1967): Interpretation of echograms of hydroacoustic fish-finding instruments. The national science foundation, WASHINGTON, D. C., 79-95.
- 26) 金大安・高冠瑞(1985): 漁具學, 教文出版社, 287-299.